

Die Kraft und die Sparsamkeit

Mit dem Turbolader beginnt eine Epoche
dynamischer Dieselautos.

Von Clauspeter Becker

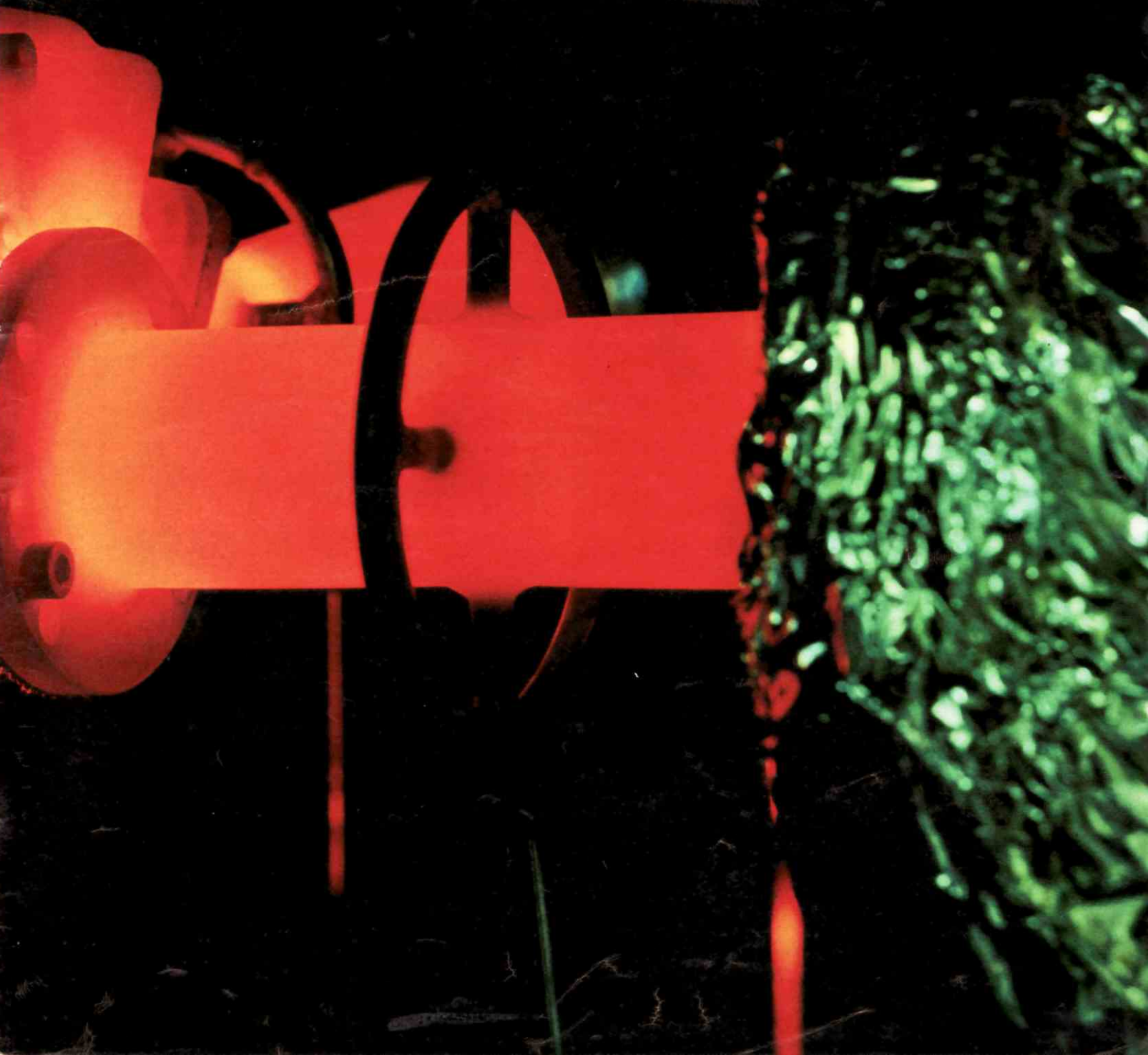
Die Idee ist nicht neu. Vor fast 60 Jahren schon verhalfen Turbolader Schiffsdieseln zu höherer Leistung. Vor 50 Jahren eroberte der aufgeladene Diesel die Lokomotiven. Vor 40 Jahren liefen die ersten aufgeblasenen Selbstzünder im Lastwagen. Und vor 30 Jahren tauchte der erste Turbodiesel in einem Rennauto auf. Dennoch ist es erst wenige Jahre her, daß der erste Diesel-Personenwagen mit zusätzlichem Turboschub auf den Markt kam.

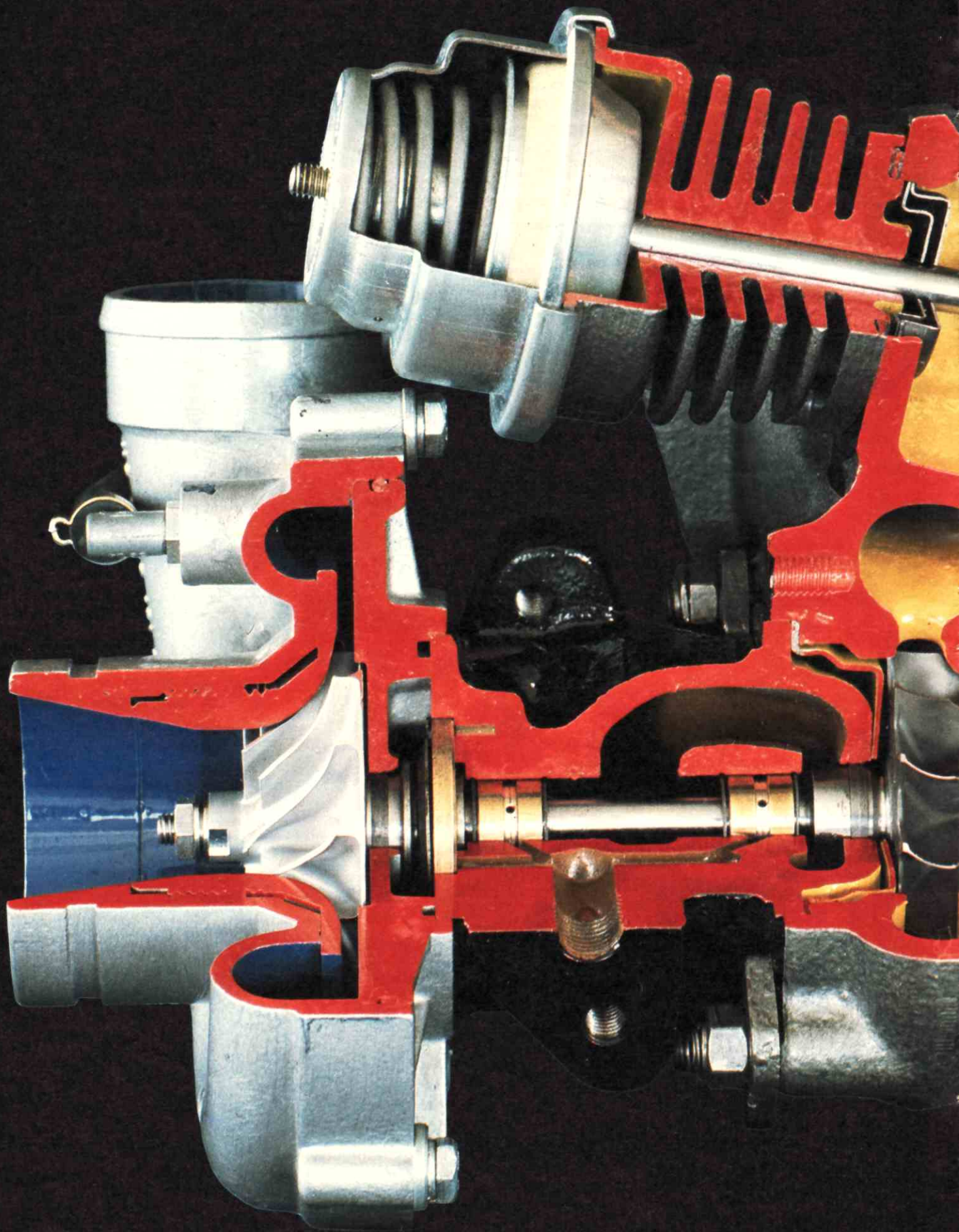
Foto: Seufert

vdh Archiv

Härtetest

Der Turbolader besteht aus wenigen Teilen: Das Gehäuse beherbergt Turbinen- und Pumpenrad sowie neuerdings auch ein Absaugventil. Dieses sogenannte Wastegate entläßt Abgase schon vor der Turbine in den Auspuff, wenn der maximale Ladedruck erreicht ist. Trotz einfacher Machart sind Turbolader teuer, denn sie müssen besonders präzise gefertigt sein, und die hohen Temperaturen erfordern kostspieliges Material. ▷



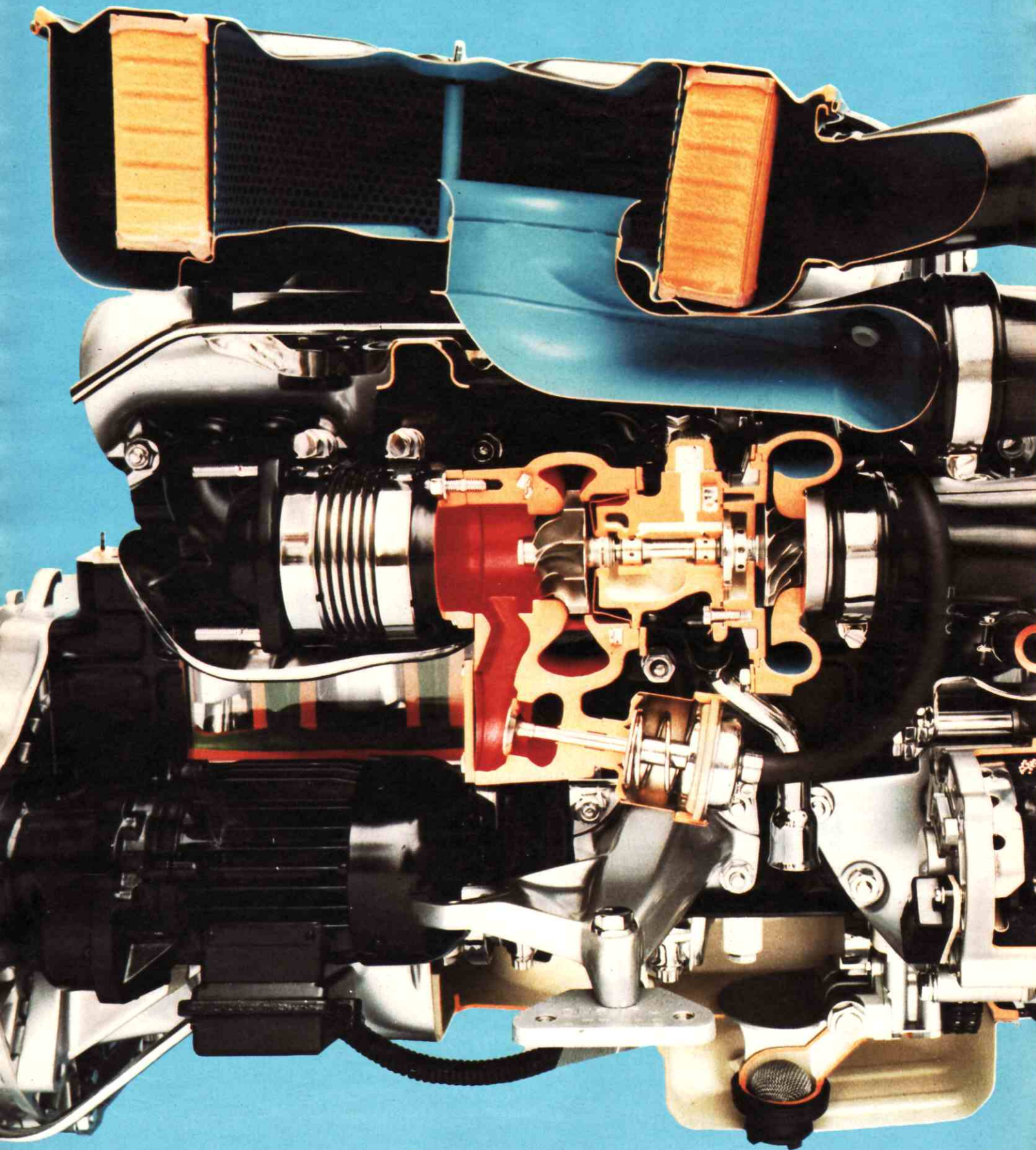


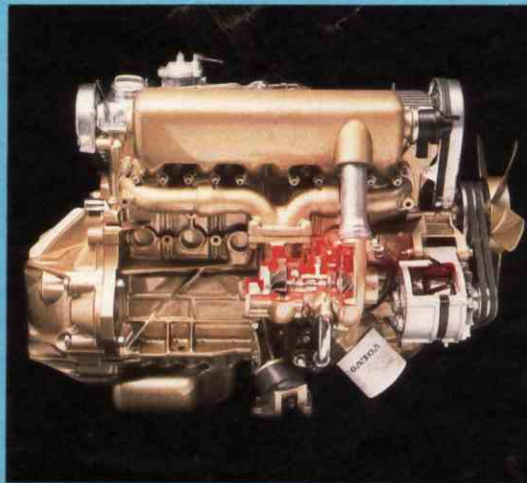
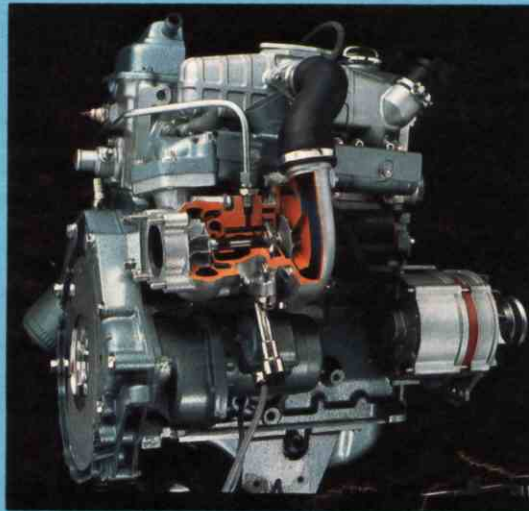


Feinmechanik

Turbolader müssen hart im Nehmen sein. Ihre Schaufelräder drehen sich mit mehr als 100000 Touren bei Temperaturen zwischen 750 und 1000 Grad. Turbo-Produzent Kühnle, Kopp und Kausch in Frankenthal bei Mannheim prüft die Lader unter ganz extremen Bedingungen: bei noch größerer Hitze und doppelter Drehzahl. Am Ende des Versuchs sprüht flüssiges Metall aus dem glühenden Gehäuse. ▷







Diesel unter Druck

Den ersten Turbodiesel installierte Mercedes in Personwagen. Der Fünfzylinder (links) tut seit 1978 in einer Sonderausführung der S-Klasse für den Amerika-Markt Dienst. VW produziert zwei Turbodiesel (oben), einen Vierzylinder für Volkswagen und Audi sowie einen Sechszylinder für Volvo. Der Sechszylinder Turbodiesel von BMW (unten) ist im Endstadium der Entwicklung und wird die Dreier- und die Fünfer-Reihe antreiben. ▷







Die schnellsten Turbodiesel

Turbogeladene Dieselaautos gingen erfolgreich auf Rekordjagd. Der Mercedes C 111/III (links) fuhr über eine Distanz von 100 Kilometern einen Durchschnitt von 322 km/h.

Der ARVW des Volkswagenwerks kam auf ein Tempo von 349 km/h. Der Mercedes C 111/II war mit 252 km/h unterwegs – und das über eine Strecke von immerhin 10000 Kilometern. Der Dieselstar von Fritz B. Busch erreichte eine Höchstgeschwindigkeit von 249 km/h.



Im Sommer 1952 machte der aufgeladene Dieselmotor auf höchst spektakuläre Weise von sich reden. Der Amerikaner Freddy Agabashian fuhr bei den Qualifikationsläufen zum 500 Meilen-Rennen von Indianapolis mit seinem Cummins Diesel Special die schnellste Trainingszeit.

Agabashian errang damit die Pole-Position mit einem selbstzündenden Motor. Seine Konkurrenten, die auf das Prinzip des Herrn Nikolaus Otto und auf den anerkannt potenten Offenhausermotor setzten, hatten das Nachsehen.

Zum Sieg reichte es Agabashian nicht. Der neuentwickelte Cummins-Leichtmetallmotor, der 400 PS (294 kW) bei 4000/min leistete, wurde während des Rennens zu heiß.

Etwas grundlegend Neues freilich war Zwangsbeatmung für Dieselmotoren zu diesem Zeitpunkt längst nicht mehr. Schon Rudolf Diesel hatte in den Jahren 1896 und 1897 mit der Aufladung experimentiert. Und das Prinzip des Abgas-Turboladers geht auf Patente zurück, die bereits 1905 dem Schweizer Alfred Büchi erteilt wurden.

Seine lange und recht langsame Karriere machte der Turbo-Diesel in der Folgezeit von oben nach unten. Zunächst wurden ganz große Motoren aufgeladen – so 1925 die Dieselmotoren der deutschen Motorschiffe „Preußen“ und „Hansestadt“. Den Schiffen folgten die Züge. In den dreißiger Jahren setzte die Deutsche Reichsbahn erstmals Lokomotiven mit Turbodieseln ein. Und schon 1938 baute die Schweizer Firma Saurer die ersten solcherart beflügelten Lastwagen in Serie.

Im Personenwagen hatte der Diesel zu jener Zeit erst seine frühen Gehversuche hinter sich. Und es vergingen von da an noch einmal 40 Jahre, bis 1978 der Mercedes 300 SD – eine Sonderausführung für den USA-Markt – als erster Personenwagen einen turbogeladenen Dieselmotor erhielt. ▢

Turbodiesel

Turbogeladene Ottomotoren gab es zu diesem Zeitpunkt schon in einigen Sportwagen und Limousinen. Der Diesel war trotz seiner langen Turbo-Vergangenheit ins Hintertreffen geraten, was zwangsläufig den Verdacht größerer Probleme nahelegte.

In Wirklichkeit jedoch sind die Verhältnisse genau umgekehrt. Der Dieselmotor ist ein sehr viel harmonischerer und unproblematischerer Turbopartner als der Ottomotor, und das hat eine Menge von Gründen.

Eine sehr große Rolle spielen hier die unterschiedlichen Regelsysteme der beiden Bauarten:

- Der Ottomotor hat, wie der Techniker sagt, eine quantitative Regelung. Diese erfolgt durch eine Drosselklappe, die – je nach Leistungsbedarf – eine größere oder kleinere Menge eines Kraftstoff-Luftgemischs annähernd gleicher Zusammensetzung in den Motor strömen läßt.

- Der Dieselmotor wird, wie es in der Fachsprache heißt, qualitativ geregelt. In seinem Ansaugrohr befindet sich keine Drosselklappe. Die Luft kann in jedem Lastzustand ungehindert einströmen. Die Regelung der Leistung erfolgt ausschließlich über die Menge des eingespritzten Treibstoffs.

Während die Fremdzündung des Ottomotors nur dann einen Arbeitstakt auslösen kann, wenn die angesaugte Luft eine ganz bestimmte Menge Kraftstoff enthält, kann der Dieselmotor, dank seiner Selbstzündung, auch bei großem Luftüberschuß und minimaler Einspritzmenge noch eine Entzündung in Gang setzen.

Allein schon das Fehlen der strömungshemmenden Drosselklappe kommt der Zusammenarbeit von Dieselmotor und Turbolader zustatten. Denn der Diesel arbeitet selbst

bei geringer Last mit einem hohen Luftdurchsatz. Diese vergleichsweise größere Gasmenge ist dem Antrieb der Turbine nützlich. Sie hält den Lader in Trab und verbessert so die Voraussetzungen für ein gutes Ansprechverhalten.

Während der Ottomotor beim Gaswegnehmen der vom Turbolader geförderten Luft die Tür, beziehungsweise die Drosselklappe vor der Nase zuschlägt, ist der Diesel frei von solcher Tücke. Es tritt darum nicht jener für die Laderschaukeln kritische Pumpeffekt auf, der bei Benzinmotoren durch eine Kurzschlußleitung unterbunden werden muß.

Außerdem kann der aufgeladene Dieselmotor selbst bei Vollast noch mit hohem Luftüberschuß betrieben werden – der Benzinmotor braucht da eine appetitanregende Anreicherung des Gemischs. Das senkt einerseits den spezifischen Verbrauch und beseitigt außerdem noch eine dieseltypische Unart: Turbodiesel neigen praktisch nicht zum Ausstoß von Rußwolken.

Die technischen Daten aufgeladener Dieselmotoren weisen noch auf einen weiteren bemerkenswerten Unterschied hin. Alle Turbodiesel besitzen das arttypische hohe Verdichtungsverhältnis, das gegenüber der Saugversion allenfalls geringfügig reduziert wurde. Dennoch operieren sie mit Ladedrücken zwischen 0,6 und 1,0 bar.

Die Kombination von hoher Verdichtung und hohem Ladedruck macht dem Diesel, der daraus keine Probleme mit klopfender Verbrennung herleitet, wenig aus, wohl aber verhilft ihm dieses Konzept zu einem guten Wirkungsgrad und zu einem spontanen Ansprechverhalten.

Der turbogeladene Ottomotor gerät in diesem Punkt bekanntermaßen in ganz erhebliche Zielkonflikte. Hoher Ladedruck und mithin gute Ausnutzung der Abgasenergie

Die Turbo



VW Golf GTD, Turbodiesel für sportliche Fahrer



Mitsubishi Galant 2.3 Turbodiesel, preiswerte Offerte



Volvo 760 GL 6 DT, Neuheit aus Schweden mit VW-Motor



Audi 80 TD, der dritte Turbo aus Ingolstadt



Alfa Romeo Alfetta TD, Italiens schnellster Diesel



VW Passat TD, wirtschaftlicher Reisewagen für Vielfahrer

diesel der Welt



Mercedes 300 SD, Prestige-Diesel für Amerika



Mercedes 300 TD, mit Lader und Laderaum



VW Santana TD, Turbotechnik im konservativen Gewand



Renault 30 TD, geräumiger und komfortabler Franzose



Peugeot 604 Turbodiesel, Frankreichs nobler Sparer



Talbot Tagora TD, wenig erfolgreicher Außenseiter

läßt sich nicht mit hoher Ver-
richtung, die einen guten Wir-
kungsgrad des Motors in nicht
aufgeladenem Betriebszustand
bewirkt, vereinen.

Schließlich führt auch der J-
Lader selbst in Zusammen-
arbeit mit dem Diesel ein ange-
nehmeres Leben. Denn die
Abgase des Selbstzünders sind
mit einer Temperatur von etwa
750 Grad relativ kühl. Der Ot-
tomotor heizt da mit rund 1000
Grad ganz anders ein.

Die geringeren Abgastempera-
turen schonen auch das beim
Personenwagen-Diesel zur La-
dedruckregelung notwendige
Abgasventil. Dieses sogean-
nannte waste gate kann beim
Selbstzünder ohne thermisches
Risiko in das Gehäuse der Ab-
gasturbine integriert werden.

Allerdings hat der Dieselmotor
auch allen Grund, sich mit der
Abgasturbine gut zu stellen,
denn Aufladung ist so ziemlich
die einzige Möglichkeit, die
Leistung des Selbstzünders
über das mittlerweile erreichte
Niveau hinaus anzuheben.

Während der Drehzahl des Ot-
tomotors offenbar nur mecha-
nische Obergrenzen gesetzt
sind, limitiert die Selbstzün-
dung durch hohe Verdichtung
beim Diesel die Geschwindig-
keit des Verbrennungsprozes-
ses und ohnehin auch das
Drehvermögen.

Mehr als 5000/min sind
beim heutigen Stand der
Dieseltechnik im Automobil
nicht drin. Und es spricht wenig
dafür, daß sich diese Grenze
nennenswert nach oben ver-
schieben läßt.

Ohne Aufladung ist die spezifi-
sche Leistung des Diesel mithin
auf etwa 35 PS oder 25 kW pro
Liter Hubraum begrenzt. Und
diese Einschränkung bedingt
ein relativ hohes Leistungsge-
wicht des Motors. Jedem PS
stehen hier mindestens drei Ki-
logramm Material gegenüber.

Als einziges Mittel zur Lei-
stungssteigerung steht dem
Diesel der Weg über die Erhö-

hung des Arbeitsdrucks zur
Verfügung. Und dazu eignet
sich der Turbolader ganz vor-
trefflich.

Zunächst einmal fördert der
Lader ein größeres Luftvolu-
men in die einzelnen Zylinder-
einheiten, das – mit einer ent-
sprechend höheren Treibstoff-
menge zur Entzündung ge-
bracht – mehr Kraft pro Ar-
beitstakt ergibt. Der Techniker
spricht in diesem Zusammen-
hang von einem höheren mitt-
leren Arbeitsdruck.

Darüber hinaus aber erspart
der Lader dem Motor auch
noch kräftezehrende Pumpar-
beit, die zwangsweise verab-
reichte Luft muß beim Turbo-
motor ja nicht mühsam ange-
saugt werden. Ganz klar des-
halb, daß die Vermeidung sol-
cher Verluste der Leistung zu-
sätzlich zustatten kommt.

Das Wunderbare am Abgas-
Turbo-Konzept ist aber nun,
daß dessen nachhaltige Kräfti-
gungskur mit Abfallenergie
vollbracht werden kann. Denn
der Turbolader nutzt einen Teil
jenes Viertels teuer getanker
Treibstoffenergie, das norma-
lerweise nutzlos durch den
Auspuff entflieht, für seinen
Antrieb.

Diese Rückgewinnung anson-
sten verpuffender Wärmeein-
heiten versetzt insbesondere
aufgeladene Dieselmotoren in
die Lage, die gleiche Leistung
aus kleinerem Hubraum und
bei geringerem Verbrauch zu
erzeugen.

Sobald allerdings jene erheb-
liche Leistungssteigerung, die
der Turbo auch beim Diesel er-
bringt, voll zum Einsatz
kommt, geht es auch mit dem
Konsum zwangsläufig weiter
nach oben. Wunder sind na-
mentlich in der Technik selten.
Daß ein Golf GTD mit 70 PS
(51 kW) bei entsprechender
Gangart mehr verbraucht als
ein Golf D mit 54 PS (40 kW),
das ist ganz normal.

Das Beispiel Golf zeigt aber
auch, daß die Kraftkur mit
dem Lader den Leistungsrück-

Turbodiesel

stand des Diesels gegenüber dem Ottomotor ganz erheblich abzubauen vermochte. Mit 1,6 Litern Hubraum leistet die GTD-Maschine ebensoviel wie der Golf S-Motor mit 1,45 Litern Zylinderinhalt, nämlich 70 PS (51 kW).

Die spezifische Leistung des Diesels stieg damit auf 44 PS (32 kW) pro Liter Hubraum. Die Grenzen des Wachstums freilich sind damit noch nicht erreicht. Der erste Dieselmotor von BMW, voraussichtlich ein 2,4 Liter-Sechszylinder, wird 115 PS (85 kW) abgeben. Daraus errechnet sich eine spezifische Leistung von 48 PS (35 kW) pro Liter. Entschieden besser noch steht der Rekordmotor von Daimler-Benz da. Drei Liter Hubraum ergeben dort 230 PS (170 kW) oder 77 PS beziehungsweise 56 kW/L. Ein Teil dieses Leistungsvorsprungs ist auch für den alltags-

tauglichen Turbodiesel aufholbar. Der bislang bei Serien-Personenwagen noch nicht installierte Ladeluftkühler ermöglicht Zuwachs, weil er kühlere, sauerstoffreichere Luft den Zylindern zukommen läßt und außerdem die thermischen Reserven des Motors vergrößert.

Mittelfristig hat der Turbodiesel dadurch die Chance, annähernd die gleiche Leistungsausbeute zu erzielen, wie sie den Ottomotoren durchschnittlicher Personenwagen eigen ist. Eine spezifische Leistung zwischen 50 und 60 PS pro Liter ist auf längere Sicht für den Diesel nicht ganz ausgeschlossen. Das traditionelle Leistungshandicap wäre damit weitgehend abgebaut.

Darüber hinaus freilich zeichnet die neue aufgeladene Diesel-Generation ein erfreulich hohes Drehmomentaufkommen aus. Dank der excellenten Füllung durch den Turbolader geben sich diese Maschinen im

mittleren Drehzahlbereich oft noch ein bißchen kräftiger als gleichstarke Ottomotoren.

Die natürliche Drehzahlgrenze des Diesel bei 5000/min sichert zumindest teilweise, daß die arttypische Haltbarkeit selbstzündender Aggregate nicht verlorengeht. Die höheren Drücke aber, die für kräftigere Leistung sorgen, dürfen bei der Entwicklung eines Turbodiesel nicht außer acht gelassen werden. So geht denn auch fast immer die Adaption des Turboladers mit einer Verstärkung der Kurbelwelle einher, und bisweilen sind auch noch stabilisierende Maßnahmen am Motorgehäuse vonnöten.

Außerdem steigt die thermische Belastung mit der Aufladung beträchtlich an. Die Kolben führen in diesem Fall ein sehr viel heißeres Dasein. Aus diesem Grund besitzt die Mehrheit der Turbodiesel eine Spritzkühlung für die Kolben-

unterseite. Durch eine entsprechende Bohrung im Pleuellfuß wird bei jeder Kurbelwellenumdrehung eine Portion Öl in das Innere des Kolbens gespritzt. Neben sichtbarem steckt in jedem Turbodiesel auch noch eine Menge unsichtbarer Aufwand, der auf jeden Fall Entwicklungsarbeit, oft aber auch bares Geld kostet.

Darum ist es die Kehrseite solchen Fortschritts, daß der ohnehin kostspielige Dieselmotor immer teurer wird. Schon ein Turbodiesel heutiger Machart kostet bei gleicher Leistung in der Herstellung fast dreimal so viel wie ein gleichstarker Vergaser-Ottomotor. Falls Ladeluftkühlung und womöglich noch Direkteinspritzung hinzukommen, verschlechtert sich dieses Verhältnis neuerlich. Und dann kann es leicht passieren, daß die Sparsamkeit des Diesels einfach unerschwinglich wird.



Turbodiesel: Technische Daten, Meßwerte und Preise

Fahrzeugtyp	Bauart	Zylinder	Hubraum cm³	Leistung kW (PS) bei 1/min	max. Drehmoment Nm bei 1/min	Verdichtung	Gewicht kg	Beschleunigung 0-100 km/h in s	Höchstgeschwindigkeit km/h	Verbrauch L/100 km¹	Richtpreis DM
Alfa Romeo											
Alfetta TD	K	4	1995	61 (82)/4300	162/2300	22,0:1	1270	n.a.	155,0	D 7,9	— ²⁾
Audi											
80 Turbodiesel	F	4	1588	51 (70)/4500	133/2600	23,0:1	1020	14,3	158,0	D 6,4	—
Mercedes-Benz											
300 TD	K	5	2998	90 (122)/4350	231/2400	21,5:1	1585 T	17,0 T	156,6 T	D 12,5 T	33 211,—
300 SD	K	5	2998	90 (122)/4350	231/2400	21,5:1	1715	15,2	165,0	D 10,6	— ²⁾
Mitsubishi											
Galant TD 2.3	K	4	2347	70 (95)/4200	181/2500	21,0:1	1255 T	14,2 T	157,2 T	D 9,4 T	19 990,—
Peugeot											
604 Turbo Diesel	K	4	2304	54 (73)/4150	181/2000	21,0:1	1525 T	19,9 T	155,2 T	D 10,6 T	33 700,—
Renault											
30 Turbo Diesel	F	4	2068	64 (86)/4250	181/2000	21,5:1	1370 T	15,6 T	159,3 T	D 11,3 T	28 990,—
Talbot											
Tagora DT	K	4	2304	54 (73)/4150	181/2000	21,0:1	1380 T	17,4 T	157,8 T	D 11,4 T	26 900,—
Volkswagen											
Golf GTD	F	4	1588	51 (70)/4350	133/2600	23,0:1	919 T	14,0 T	160,0 T	D 8,0 T	ca. 18 000,—
Passat CL Turbodiesel	F	4	1588	51 (70)/4350	133/2600	23,0:1	1005	15,4	157,0	D 6,2	—
Santana CL Turbodiesel	F	4	1588	51 (70)/4350	133/2600	23,0:1	1005	15,4	152,0	D 6,4	—
Volvo											
760 GLE	K	6	2383	81 (110)/4800	190/3000	23,0:1	1350	13,0	170,0	D 8,2	—

¹⁾ Bei nicht im Test ermitteltem Verbrauch: Mittelwert der DIN-Angaben (90 km/h, 120 km/h, Stadtverkehr). ²⁾ wird in Deutschland nicht angeboten. D = Dieselmotortreibstoff, F = Frontantrieb, K = konventionell (Motor vorn - Antrieb hinten), Zylinderzahl ohne Zusatz = Reihenmotor, T = Testwert, n.a. = vom Hersteller nicht angegeben, — = Preis steht noch nicht fest.